

تعیین فاکتور کیفیت امواج برشی مستقیم Q_β ، در منطقه البرز به کمک داده‌های میدان نزدیک حرکت نیرومند زمین‌لرزه کجور در محدوده بسامدی ۱ تا ۳۲ هرتز

هادی قاسمی^{*}، نصرالله کمالیان^{**}، حسین حمزه‌لو^{***} و علی بیت‌الهی^{*}

^{*} مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن صندوق پستی ۱۶۹۶-۱۳۱۴۵

^{**} مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، صندوق پستی ۶۴۶۶-۱۴۱۵۵

^{***} پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله صندوق پستی ۳۹۱۳-۱۹۳۹۵

(دریافت مقاله: ۸۳/۷/۲۵، پذیرش مقاله: ۸۴/۳/۱۰)

چکیده

داده‌های میدان نزدیک حرکت نیرومند زمین مربوط به تکان اصلی زمین‌لرزه هشتم خرداد ۱۳۸۳ بلده-کجور با بزرگای گشتاوری $M_w = 6.2$ (NEIC) به منظور تعیین وابستگی بسامدی ضریب کیفیت امواج برشی مستقیم Q_β ، در محدوده بسامدی ۱ تا ۳۲ هرتز مورد استفاده قرار گرفته است. بر اساس آنالیز رگرسیون انجام گرفته رابطه زیر برای وابستگی بسامدی Q_β پیشنهاد شده است:

$$Q = 90f^{0.74}$$

ضریب میرایی بالا و نیز وابستگی شدید بسامدی مشاهده شده، بیانگر لرزه‌خیزی بالای منطقه مورد مطالعه بوده و با نتایج مطالعات مشابهی که در سایر نقاط لرزه‌خیز دنیا مانند یونان، ژاپن، هندوستان و ... صورت گرفته است همخوانی دارد.

واژه‌های کلیدی: ضریب کیفیت، شتاب‌نگاشت، بلده-کجور

۱ مقدمه

که در این رابطه Q_s و Q_i به ترتیب ضرایب کیفیت مربوط به پراکنش و میرایی ذاتی‌اند.

کاهیدگی تخمین زده شده از روی موج مستقیم برشی شامل ترکیبی از اثرات ناشی از دو عامل فوق است (آکی ۱۹۸۰، راثوتین و کالتورین ۱۹۷۸) اما کاهیدگی به‌دست آمده از مطالعه امواج کدا Q_c ، تنها مورد دوم را در بر می‌گیرد علاوه بر این که شکل امواج کدا ناشی از زمین‌لرزه‌های محلی به واسطه تعداد مراکز پراکنش و نیز ابعاد آنها کنترل می‌شود. (تسلتیس ۱۹۹۷ و ۱۹۹۸).

داده‌های مورد استفاده مربوط به زمین‌لرزه (28 May 2004, 12:38:46 UTC) هشتم خرداد ۱۳۸۳ با بزرگای گشتاوری $M_w = 6.2$ در گستره کجور استان مازندران به وقوع پیوست، جنبش ناشی از این زمین‌لرزه

دو علت کلی را می‌توان برای کاهیدگی امواج لرزه‌ای در زمین در نظر گرفت:

۱. پراکنندگی امواج لرزه‌ای (scattering) به واسطه ناهمگنی‌های درون زمین

۲. میرایی ذاتی (intrinsic loss) که ناشی از سازوکار برشی است.

مورد اول سبب تغییر در فاز امواج لرزه‌ای و یا صرفاً تغییر جهت انتشار امواج لرزه‌ای می‌شود و مورد دوم سبب تبدیل انرژی موج لرزه‌ای به گرما می‌شود. در حالت کلی میزان کاهیدگی با عکس ضریب کیفیت کلی (Q_T) مشخص می‌شود (رابطه ۱).

$$Q_T^{-1} = Q_S^{-1} + Q_i^{-1} \quad (1)$$

در بخش‌های وسیعی از کشور احساس شد و در اثر رویداد آن بیش از ۳۵ نفر کشته و بیش از ۴۰۰ نفر مجروح شدند.

در این مقاله رکوردهای میدان نزدیک حرکت نیرومند زمین که در خلال زمین‌لرزه بلده-کجور ثبت شده‌اند، به منظور تعیین فاکتور کیفیت امواج برشی مستقیم مورد استفاده قرار گرفته‌اند که نتایج حاصل از آن به صورت اطلاعات پایه برای شبیه‌سازی حرکت نیرومند زمین در فاصله کوتاه از چشمه زمین‌لرزه، که معمولاً رکوردهای اندکی در این فاصله موجود است، به کار می‌روند، علاوه بر این ضریب کیفیت Q ، معیاری کمی برای کیفیت جنس زمین و لرزه‌خیزی منطقه به‌شمار می‌آید به طوری که میزان جذب برای نواحی فعال تکتونیک $0.4 < \alpha < 0.6$ ، $Q < 300$ و برای نواحی غیرفعال ضریب جذب $\alpha < 0.2$ و $Q > 1000$ برآورد می‌شود (مارتینو و همکاران ۱۹۹۹) و از این لحاظ تعیین آن چه در علم زلزله‌شناسی و چه در زلزله‌شناسی مهندسی از اهمیت به‌سزایی برخوردار است.

۲ داده‌های مورد استفاده

در این مقاله در مجموع از ۴۳ شتاب‌نگاشت میدان نزدیک به‌دست آمده از زمین‌لرزه بلده-کجور با بزرگای گشتاوری $M_w = 6.2$ و عمق کانونی 18~23 km استفاده شده است (شکل ۱).

مشخصات مربوط به ایستگاه‌های ثبت‌کننده و رکوردهای مورد استفاده، در جدول ۱ آورده شده است.

دستگاه‌های ثبت‌کننده، دستگاه دیجیتالی سه مؤلفه‌ای SSA-2 با پهنای باند وسیع و بسامد طبیعی ۵۰ هرتز است که تصحیحات مربوط به بسامد طبیعی و میرایی دستگاه (پاسخ دستگاهی) در فایل خروجی آن به‌طور خودکار اعمال شده است.

تجربیات گذشته مبین آن است که اغلب رکوردهای

دیجیتال، مانند رکوردهای آنالوگ، در اثر عوامل متعددی مانند نوفه (noise)، پدیده هیستریزس (hysteresis) در دریاه (سنسورها)، کج شدگی و انحراف زمین (ground tilt) با مشکلی به‌نام انحراف از خط مبنا (baseline offset) مواجه هستند (بور، ۲۰۰۱ و بور و همکاران، ۲۰۰۲) هر چند اغلب تأثیر مطالب فوق روی رکوردهای شتاب اندک است ولی سبب انحرافات فاحش روی رکوردهای سرعت و جابه‌جایی حاصل از انتگرال‌گیری از روی رکورد شتاب می‌شوند، به طوری که رکوردهای به‌دست آمده کاملاً غیر واقعی به نظر می‌آیند (شکل ۲، سه ردیف بالا). به منظور رفع مشکل خط مبنا رکوردها، در ابتدا کلیه رکوردها بر مبنای پیشنهادی بور (۲۰۰۱)، که در زیر به آن اشاره شده است، مورد تصحیح خط مبنا قرار گرفته و سپس رکوردهای تصحیح شده به منظور تعیین فاکتور کیفیت امواج برشی مستقیم مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

۳ طرح تصحیح خط مبنا

۱. تعیین میانگین شتاب در بازه زمانی $t = 0$ تا

$t = t_p$ که t_p تقریباً لحظه اولین رسید موج به ایستگاه است (تصحیح مرتبه صفر zeroth-order-correction).

۲. برازش یک منحنی درجه دوم روی سرعت نگاشت حاصل از انتگرال‌گیری از شتاب‌نگاشت که تصحیح مرتبه صفر روی آن اعمال شده است به نحوی که مقدار تابع برازش داده شده در $t = t_p$ برابر صفر باشد.

۳. تفریق مشتق تابع برازش داده شده از شتاب‌نگاشتی که تصحیح مرتبه صفر روی آن اعمال شده است.

۴. تعیین پهنای باند فیلتر باتروث مرتبه چهار در محدوده‌ای که نسبت سیگنال به نوفه بزرگ‌تر یا مساوی سه باشد و اعمال فیلتر روی رکورد شتاب

به دست آمده از مرحله ۳.

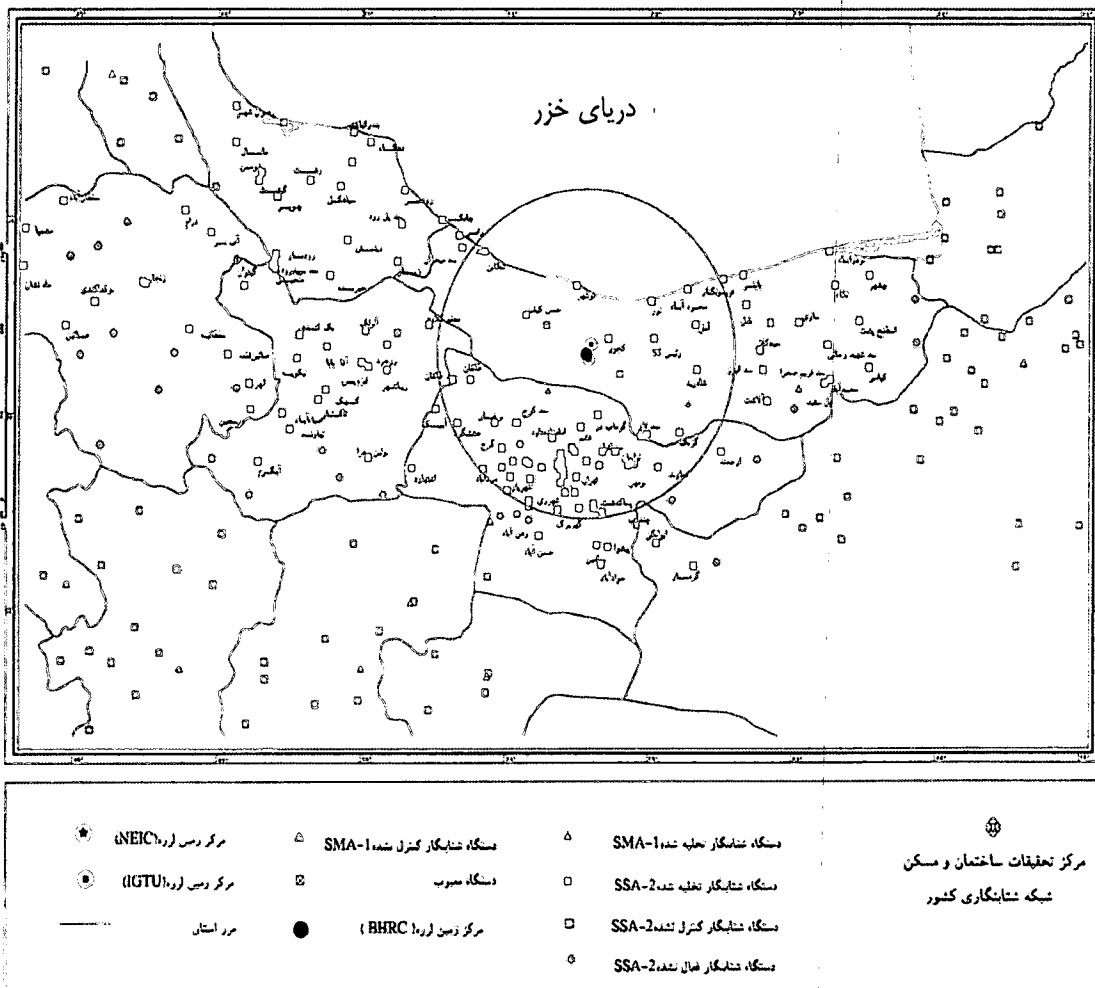
در شکل ۲ مثالی از اعمال مراحل فوق روی رکورد به دست آمده از ایستگاه پول در ۱۷ کیلومتر رومرکز زمین لرزه کجور، آورده شده است.

گرفته شده توسط اندرسون و کواس (۱۹۸۸) و کاسترو و همکاران (۱۹۹۹، ۱۹۹۰، ۲۰۰۲) استفاده شده است. در این روش دامنه‌های طیفی به دست آمده برای بسامد f در فاصله R از کانون زمین لرزه $\dot{A}m$ طبق رابطه زیر به دست می‌آید.

۴ روش به کار گرفته شده برای تعیین فاکتور کیفیت

برای مطالعه افت دامنه‌های طیف با فاصله از روش به کار

$$u_i(f, R) = S_i(f) \times A(f, R) \quad (2)$$



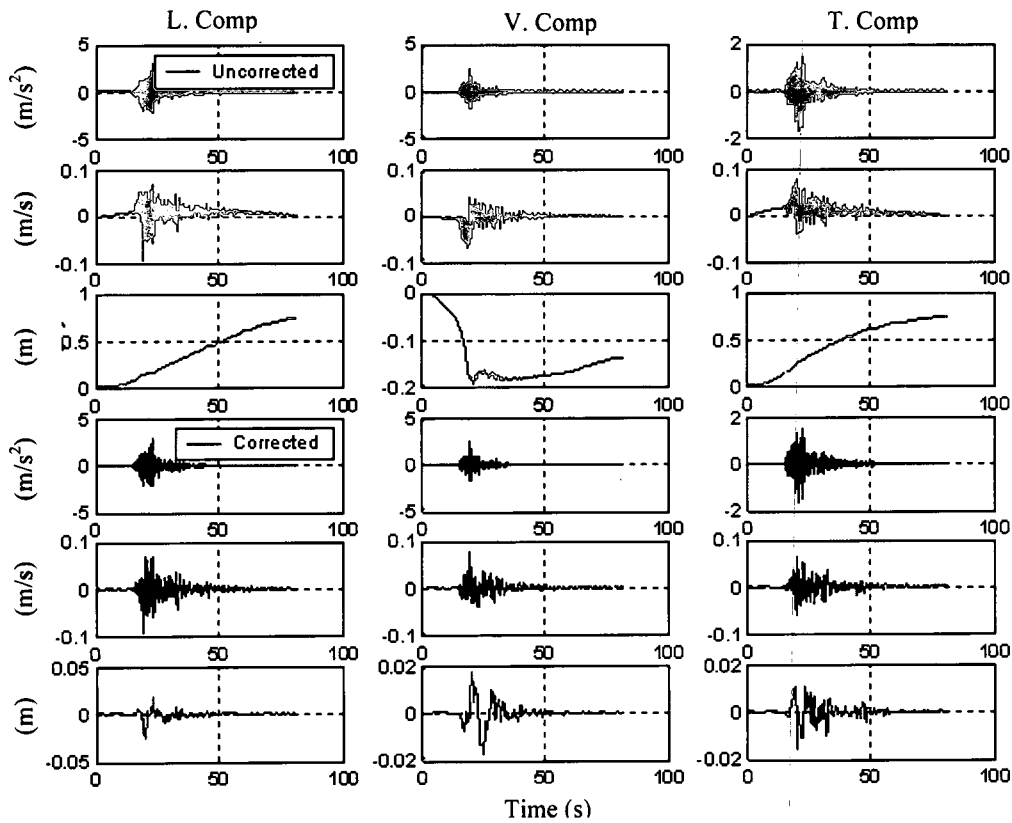
شکل ۱. نقشه رومرکز تعیین شده برای زمین لرزه کجور (مراجع مختلف)، به همراه ایستگاه‌های شتاب‌نگار مورد استفاده (داخل دایره).

جدول ۱. مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های ثبت‌کننده تکان اصلی زمین‌لرزه کجور به همراه فاصله هر یک از رومرکز زمین‌لرزه. مقادیر بیشینه شتاب در حالت تصحیح نشده (U.P.G.A) و نیز تصحیح شده (C.P.G.A) برای هر سه مؤلفه در هر یک از ایستگاه‌ها نیز آورده شده است (مختصات ایستگاه‌ها و رکوردهای خام از مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ۱۳۸۳ آورده شده است).

| Station | Coordinate | | ED | U.P.G.A.(m/s ²) | | | C.P.G.A.(m/s ²) | | |
|-------------|------------|-------|------|-----------------------------|--------|--------|-----------------------------|--------|--------|
| | E | N | (km) | L | V | T | L | V | T |
| Poul | 51.72 | 36.38 | 17 | 2.9042 | 2.5348 | 1.6735 | 2.891 | 2.5347 | 1.6187 |
| Garmabdar | 51.65 | 35.99 | 35 | 0.6509 | 0.4209 | 0.7295 | 0.6732 | 0.4163 | 0.7378 |
| Noshahr | 51.5 | 36.65 | 39 | 0.7328 | 0.3813 | 1.0674 | 0.7232 | 0.3517 | 1.0681 |
| Fasham | 51.53 | 35.93 | 41 | 0.3662 | 0.3143 | 0.5915 | 0.3795 | 0.3177 | 0.6277 |
| Noor | 52.02 | 36.57 | 51 | 0.5016 | 0.1941 | 0.6035 | 0.5034 | 0.1941 | 0.6542 |
| TEHRAN 3 | 51.33 | 35.87 | 52 | 0.1233 | 0.199 | 0.2088 | 0.1265 | 0.2068 | 0.2219 |
| Tehran 30 | 51.47 | 35.82 | 54 | 0.1217 | 0.1207 | 0.1683 | 0.1184 | 0.1273 | 0.1581 |
| Tehran 12 | 51.49 | 35.8 | 56 | 0.1698 | 0.1428 | 0.1465 | 0.1664 | 0.143 | 0.1456 |
| Lavasan | 51.77 | 35.8 | 58 | 0.244 | 0.1613 | 0.2618 | 0.2528 | 0.1636 | 0.2602 |
| Tehran 33 | 51.39 | 35.79 | 59 | 0.2432 | 0.1949 | 0.189 | 0.246 | 0.1924 | 0.201 |
| Tehran 52 | 51.57 | 35.75 | 61 | 0.162 | 0.1621 | 0.2006 | 0.1624 | 0.165 | 0.194 |
| Tehran 11 | 51.4 | 35.75 | 63 | 0.2409 | 0.1774 | 0.2688 | 0.2466 | 0.1684 | 0.27 |
| Tehran 22 | 51.39 | 35.75 | 63 | 0.2248 | 0.1467 | 0.2181 | 0.2277 | 0.1475 | 0.219 |
| Tehran 27 | 51.66 | 35.73 | 64 | 0.2132 | 0.1033 | 0.1872 | 0.212 | 0.0975 | 0.1849 |
| Tehran 18 | 51.37 | 35.73 | 66 | 0.138 | 0.0986 | 0.1704 | 0.1396 | 0.1043 | 0.1669 |
| Tehran 23 | 51.37 | 35.73 | 66 | 0.0884 | 0.1172 | 0.1375 | 0.0931 | 0.1168 | 0.1313 |
| Tehran 35 | 51.41 | 35.7 | 68 | 0.2557 | 0.1375 | 0.1163 | 0.2521 | 0.1434 | 0.1078 |
| Baraqan | 50.93 | 35.95 | 69 | 0.9739 | 0.2544 | 0.9112 | 0.9667 | 0.2505 | 0.9141 |
| Boomehen | 51.86 | 35.73 | 69 | 0.2144 | 0.1035 | 0.1981 | 0.2101 | 0.0982 | 0.1951 |
| Tehran 29 | 51.41 | 35.68 | 70 | 0.2828 | 0.2532 | 0.2553 | 0.2917 | 0.2576 | 0.2664 |
| Tehran 17 | 51.5 | 35.67 | 70 | 0.0863 | 0.0871 | 0.1256 | 0.0833 | 0.0827 | 0.1257 |
| Shah Zeyd | 52.34 | 36.22 | 71 | 0.2921 | 0.1311 | 0.3234 | 0.2821 | 0.129 | 0.3215 |
| Amol | 52.33 | 36.45 | 71 | 0.2345 | 0.1878 | 0.2941 | 0.236 | 0.1835 | 0.2998 |
| Tehran 24 | 51.15 | 35.75 | 71 | 0.2497 | 0.1738 | 0.1899 | 0.2336 | 0.1713 | 0.1903 |
| Taleqan | 50.76 | 36.17 | 73 | 0.9644 | 0.6321 | 1.2109 | 0.9872 | 0.6177 | 1.1647 |
| Tehran 13 | 51.39 | 35.64 | 75 | 0.2442 | 0.2004 | 0.3387 | 0.2512 | 0.1995 | 0.3216 |
| Karaj | 50.98 | 35.82 | 75 | 0.3335 | 0.2061 | 0.189 | 0.311 | 0.2011 | 0.1912 |
| Garmdarreh | 51.06 | 35.75 | 76 | 0.1371 | 0.1131 | 0.1303 | 0.1333 | 0.1165 | 0.1266 |
| Saeld Abad | 51.18 | 35.66 | 79 | 0.1901 | 0.1815 | 0.2522 | 0.201 | 0.1733 | 0.2571 |
| Tehran 1 | 51.42 | 35.59 | 80 | 0.2211 | 0.2086 | 0.3849 | 0.229 | 0.2057 | 0.382 |
| Fardis | 50.98 | 35.72 | 83 | 0.1485 | 0.1246 | 0.2303 | 0.1761 | 0.1263 | 0.2726 |
| Shahriyar | 51.04 | 35.67 | 84 | 0.205 | 0.1314 | 0.1619 | 0.2027 | 0.1286 | 0.1598 |
| Tonekabon | 50.86 | 36.82 | 85 | 0.4715 | 0.1958 | 0.3112 | 0.4965 | 0.1909 | 0.3713 |
| Chehel Ghez | 51.62 | 35.53 | 86 | 0.1224 | 0.0935 | 0.0836 | 0.1164 | 0.0926 | 0.0851 |
| Foroon Abad | 51.62 | 35.51 | 88 | 0.3982 | 0.2425 | 0.481 | 0.4177 | 0.2371 | 0.4815 |
| Ghaleno | 51.52 | 35.51 | 88 | 0.2263 | 0.1068 | 0.2461 | 0.2295 | 0.1044 | 0.2536 |
| Vireh | 51.08 | 35.6 | 89 | 0.226 | 0.115 | 0.2918 | 0.2153 | 0.1212 | 0.2923 |
| Nasim Abad | 51.17 | 35.55 | 90 | 0.2804 | 0.112 | 0.1721 | 0.2849 | 0.1123 | 0.18 |
| Kahrizak | 51.37 | 35.5 | 91 | 0.198 | 0.1047 | 0.2568 | 0.194 | 0.1046 | 0.2669 |

ادامه جدول ۱

| | | | | | | | | | |
|-----------|-------|-------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Mard Abad | 50.85 | 35.71 | 92 | 0.521 | 0.2827 | 0.4214 | 0.5332 | 0.28 | 0.4128 |
| Golestan | 51.17 | 35.52 | 94 | 0.1617 | 0.0711 | 0.1654 | 0.172 | 0.0718 | 0.1573 |
| Abyek | 50.52 | 36.02 | 97 | 0.2044 | 0.1495 | 0.2773 | 0.2034 | 0.1531 | 0.2879 |
| Tehran 56 | 51.26 | 35.72 | 100 | 0.2285 | 0.2551 | 0.2911 | 0.2219 | 0.2598 | 0.302 |



شکل ۲. نتیجه شتاب، سرعت و جابه‌جایی برای رکوردهای خام (سه ردیف بالا) و اعمال تصحیح خط مبنا روی رکوردهای خام ثبت شده در ایستگاه پول برای ۳ مؤلفه (سه ردیف پایین).

در نظر بگیریم خواهیم داشت:

$$A(f, R) = R^{-n} e^{\frac{-\pi f t}{Q\beta}} \quad (3)$$

که در رابطه (۳) f بسامد، t زمان سیر موج برشی مستقیم ($t = R/\beta$)، که β سرعت موج برشی است و معمولاً در ایران بین ۳ تا ۴ کیلومتر در ثانیه در نظر گرفته می‌شود که ما آنرا برابر ۳/۵ در نظر گرفته‌ایم، R^{-n} تابع گسترش هندسی است، در این حالت با در نظر گرفتن

که در رابطه فوق R فاصله کانونی از زمین‌لرزه Δm و تابع کاهیدگی معرف روند کاهش دامنه با فاصله و $S_i(f)$ یک کمیت اسکالر بوده که به بزرگی زمین‌لرزه i بستگی دارد.

برای برآورد فاکتور کیفیت Q_β ، در نظر می‌گیریم که عملگر کاهیدگی در رابطه (۲) صرفاً شامل اثرات ناشی از گسترش هندسی و نیز فاکتور کیفیت Q باشد، در نتیجه اگر یک مدل کاهیدگی برای مشخص کردن $A(f, R)$

دور ($R > 100 \text{ km}$) به علت حضور امواج سطحی در رکورد که گسترش استوانه‌ای دارند (فاز L_g یا امواج لاو) مقدار n برابر ۲ در نظر گرفته می‌شود، هر چند که می‌توان مقدار آنرا از روی حل دستگاه معادلات چند مجهولی به دست آورد (اندرسون و کواس، ۱۹۸۸ و کاسترو و همکاران، ۲۰۰۲). بر اساس رابطه (۵) بعد از تصحیح دامنه‌های طیفی محاسبه شده برای اثرات گسترش هندسی، شیب خط درجه یک برازش داده شده به روش کم‌ترین مربعات، b ، مابین مقادیر $\{\log u_i(f, R) + n \log R\}$ و R برابر $\{-\pi \log(e) \frac{f}{\beta Q_\beta}\}$ خواهد بود به عبارت دیگر داریم:

$$Q_\beta = \frac{-\pi \log(e) f}{b \beta} \quad (۴)$$

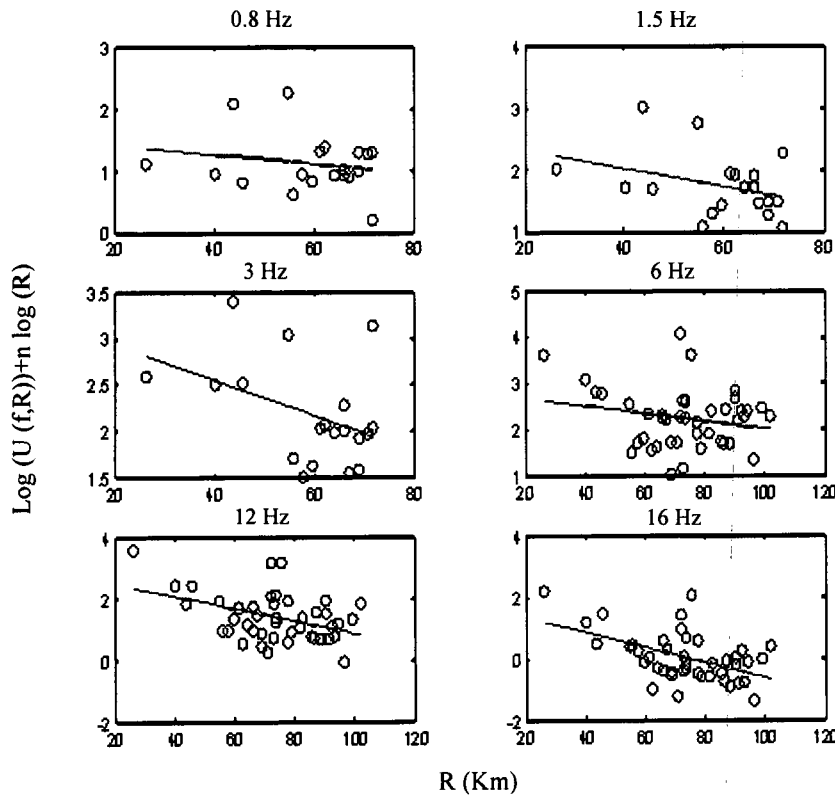
به صورتی که در معادله (۳) آورده شده است می‌توان به جای یافتن توابع غیر پارامتری برای برآورد $A(f, R)$ ، مستقیماً β و Q را از معادله (۲) به دست آورد. به عبارت دیگر با جای گذاری رابطه (۳) در رابطه (۲) خواهیم داشت:

$$u_i(f, R) = S_i(f) R^{-n} e^{\frac{-\pi f R}{\beta Q_\beta}} \quad (۴)$$

و یا

$$\log u_i(f, R) + n \log R = \log S_i(f) - \pi \log(e) \frac{f}{\beta Q_\beta} R \quad (۵)$$

برای مسافت‌های کوتاه ($R \leq 100 \text{ km}$) مقدار n برابر ۱ در نظر گرفته می‌شود که معادل گسترش هندسی کروی، مربوط به امواج درونی است اما برای مسافت‌های



شکل ۳. نتایج حاصل از آنالیز برازش (regression) روی داده‌های میدان نزدیک زمین لرزه کجور به ازای بسامدهای مرکزی (۰/۸، ۱/۵، ۳، ۶، ۱۲، ۱۶) هرتز.

امواج سطحی لاو در فواصل رومرکزی بزرگتر از ۷۰ کیلومتر رکوردهایی با فاصله رومرکزی کمتر از ۷۰ کیلومتر در نظر گرفته شده‌اند.

سپس به کمک رابطه $Q = Q_0 f^\alpha$ می‌توان با توجه به مقادیر محاسبه شده برای ضریب کیفیت در بسامدهای مختلف (جدول ۲ و شکل ۴) مقدار Q و α را محاسبه نمود که با توجه به شکل ۴ این مقادیر به ترتیب معادل ۹۰ و ۰/۷۴ خواهند بود (رابطه ۷).

$$Q_\beta = 90f^{0.74} \quad (7)$$

رابطه ۷ بیانگر کاهیدگی بالای امواج S در محدوده بسامد و مسافتی مورد نظر است و به خوبی با ساختار تکنیکی پیچیده و لرزه‌خیزی بالای منطقه البرزغربی همخوانی دارد.

۶ مقایسه نتایج به دست آمده با دیگر مطالعات

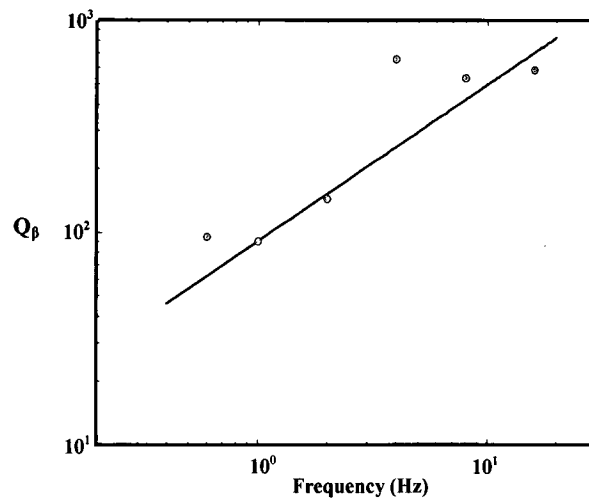
از مطالعات صورت گرفته در زمینه تعیین فاکتور کیفیت که از زمین لرزه‌های گستره منطقه لرزه زمین‌ساختی البرز غربی بهره جسته‌اند می‌توان به تعیین فاکتور کیفیت برای تهران و پیرامون آن (اله‌یار خانی، ۱۳۷۶) و نیز تعیین فاکتور کیفیت برای پیرامون تبریز (نظام‌اسلامی، ۱۳۸۲) اشاره نمود که الگوی کاری در هر دو مورد روش ارائه شده توسط (ساتو، ۱۹۷۷) است که به منظور تعیین فاکتور کیفیت امواج کدا، Q_C ، مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل ۵).

۵ محاسبه فاکتور کیفیت امواج برشی، Q_β ، در منطقه از دیدگاه زلزله‌شناسی مهندسی و نیز به منظور شبیه‌سازی حرکت نیرومند زمین، فاکتور کیفیت امواج برشی از اهمیت بالاتری نسبت به فاکتور کیفیت امواج کدا برخوردار است، علاوه بر این که اثرات ناشی از هر دو مورد ذکر شده برای کاهیدگی امواج لرزه‌ای را دربرمی‌گیرد.

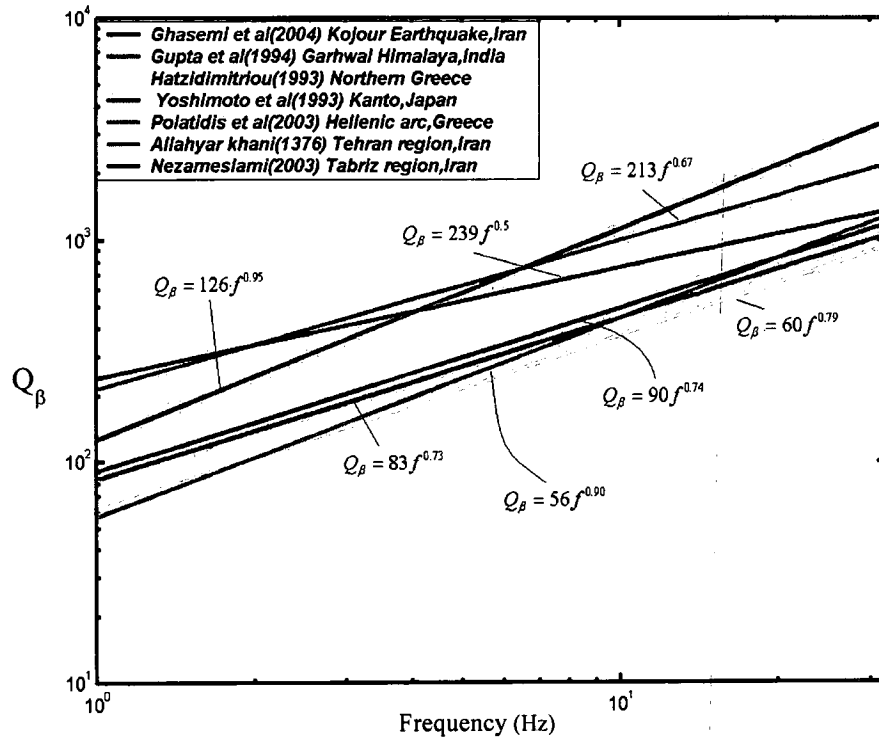
در این مطالعه در مجموع از چهل و سه رکورد حرکت نیرومند زمین در فاصله رومرکزی (۱۰۰-۱۷ کیلومتر) به منظور تعیین فاکتور کیفیت امواج برش استفاده شده است. بعد از اعمال تصحیح مربوط به انحراف از خط مبنا روی کلیه رکوردهای مورد استفاده، با توجه به این که موج غالب و نیز بیشینه دامنه مؤلفه‌های افقی رکوردها مربوط به امواج برشی مستقیم است، به جای مشخص کردن پنجره S برای هر رکورد و محاسبه طیف دامنه آن و بررسی افت دامنه با فاصله به‌ازای بسامدهای مختلف، چهار فیلتر باندها با ترتیب مرتبه چهار با بسامدهای مرکزی ذکر شده در جدول ۲ روی کلیه مؤلفه‌های افقی ثبت شده اعمال شده است، سپس میانگین بیشینه مقدار مربوط به مؤلفه‌های افقی هر ایستگاه به‌ازای بسامدهای یاد شده تعیین شده و نحوه افت آنها با افزایش فاصله به‌ازای هر کدام از بسامدها بررسی شده است (شکل ۳). لازم به ذکر است برای بسامدهای مرکزی (۰/۸، ۱/۵ و ۳ هرترز) به علت آمیخته شدن دامنه‌های امواج برشی مستقیم با

جدول ۲. محدوده بالا و پایین فیلترهای اعمال شده به همراه مقادیر فاکتور کیفیت محاسبه شده به‌ازای بسامدهای مرکزی ۱۶-۰/۸ هرترز.

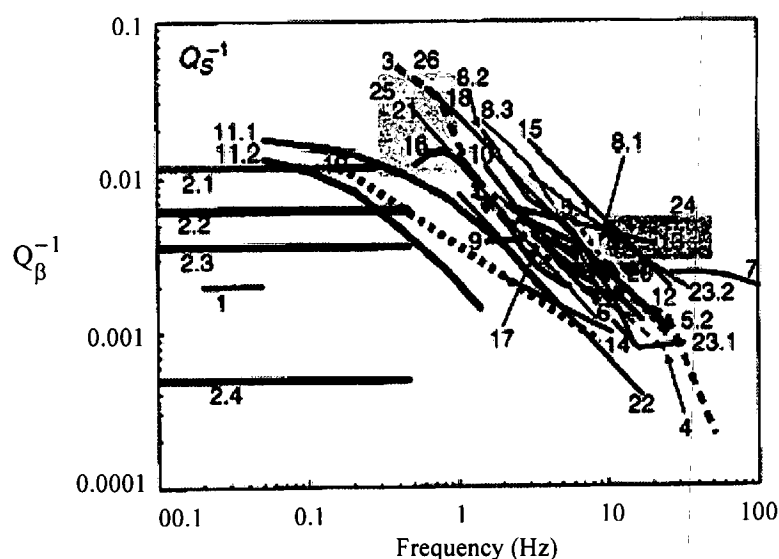
| Low cutoff | Central frequency | High cutoff | Q |
|------------|-------------------|-------------|--------|
| 0.6 | 0.8 | 1 | 94.44 |
| 1 | 1.5 | 2 | 90.23 |
| 2 | 3 | 4 | 142.72 |
| 4 | 6 | 8 | 652.95 |
| 8 | 12 | 16 | 533.38 |
| 16 | 16 | 32 | 580.23 |



شکل ۴. برازش مقادیر Q_β به‌ازای بسامدهای مرکزی ۰/۸-۱۶ هرتز.



شکل ۵. مقایسه رابطه فاکتور کیفیت امواج برشی برای زمین‌لرزه کجور (منطقه البرز غربی)، با روابط به‌دست آمده در سایر نقاط لرزه‌خیز دنیا. به‌ازای بسامدهای مرکزی ۰/۸-۱۶ هرتز.



شکل ۶. مقادیر گزارش شده برای Q_{β}^{-1} در سنگ کره (ساتو، ۲۰۰۲) که نتایج به دست آمده از این مطالعه نیز به خوبی در محدوده گزارش شده قرار می گیرد.

شکل ۵ نتایج حاصل از مقایسه رابطه ارائه شده و نیز روابط مشابه مربوط به سایر کشورها مانند یونان، ژاپن و ... را نشان می دهد. به علاوه مقادیر Q_{β}^{-1} گزارش شده برای سنگ کره (lithosphere) نیز در شکل ۶ آورده شده است (ساتو ۲۰۰۲) در حالت کلی همان طور که از این روابط بر می آید مقدار Q_{β}^{-1} در بسامد ۱ هرتز در حدود 10^{-2} است که این مقدار در حوالی ۲۰ هرتز به 10^{-3} کاهش می یابد. از این رو، نتایج به دست آمده تطابق خوبی با مقادیر مشابه گزارش شده دارد و بیانگر لرزه خیزی بالای منطقه مورد مطالعه است.

۶ نتیجه گیری

۱. اصلاح مشکل انحراف از خط مبنا برای تعیین فاکتور کیفیت ضروری است.
۲. مقادیر فاکتور کیفیت به دست آمده در محدوده بسامدی ۳۲-۱ هرتز مابین ۹۰ تا ۵۸۰ متغیر است.
۳. میزان ضریب میرایی برابر 0.74 و مقدار Q_0 برابر ۹۰

برآورد شده است.

۴. مقایسه فاکتور کیفیت برآورد شده با سایر روابط تعیین شده برای نقاط لرزه خیز، بیانگر لرزه خیزی زیاد منطقه است.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از راهنمایی ها و نظرات ارزشمند Dr. Castro و Prof. Kiratzi نهایت تشکر و قدردانی به عمل می آید، همچنین در این مقاله از شتابنگاشت هایی که از سوی مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن در اختیار نگارندگان قرار گرفته، استفاده شده است که بدین وسیله تشکر و سپاس خود را اعلام می داریم.

منابع

- اله یارخانی، م، ۱۳۷۶، تعیین ضریب Q برای مناطق اطراف تهران، پایان نامه کارشناسی ارشد، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.

- Hatzidimitriou, P., Papazachos, C., Kiratzi, A., and Theodulidis, N., 1993, Estimation of attenuation structure and local earthquake magnitude based on acceleration records in Greece. *Tectonophys*, **217**, 243-253.
- Martynov, V. G., Vernov, F. L., and Mellors, R. J., 1999, High frequency attenuation in the crust and upper mantle of the northern Tien Shan: *Bull. Seism. Soc. Am.*, **89**, 215-238.
- Nogol-e-sadat, M., 1993, Seismotectonic map of Iran, *Geol. Sur. Iran*.
- Polatidis, A., Kiratzi, A., Hatzidimitriou, p., and Margaris, B., 2003, Attenuation of shear-waves in the back-arc region of the Hellenic arc for frequencies from 0.6 to 16 Hz. *Tectonophys*, **367**, 29-40.
- Rautian, T. G., and Khalturin, V. I., 1978, The use of coda for determination of the earthquake source spectrum: *Bull. Seism. Soc. Am.*, **68**, 923-948.
- Sato, H., 1977, Energy propagation including scattering effect: *J. Phys. Earth*, **25**, 27-41.
- Sato, H., and Fehler, M., Wu, R. S., 2002, Scattering and attenuation of seismic waves in the lithosphere. In: Lee, W. H. K., Kanamori, H., Jennings, P. C., Kisslinger, C. (Eds.), *International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology*, Academic Press, New York. Chap. 13.
- Tselentis, G. A., 1997, Evidence for stability in coda Q associated with the Egean (central Greece) earthquake of 15 June 1995: *Bull. Seism. Soc. Am.*, **87**, 1679-1684.
- Tselentis, G. A., 1998, Intrinsic and scattering seismic attenuation in W. Greece: *Pure Appl. Geophys.*, **153**, 703-712.
- Yoshimoto, K., Sato, H., and Ohtake, M., 1993, Frequency-dependent attenuation of P and S waves in Kanto area, Japan, based on the coda-normalization method: *Geophys. J. Int.*, **114**, 165-174.
- نظام‌الاسلامی، ح.، ۱۳۸۲، تعیین فاکتور کیفیت برای پیرامون تبریز، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.
- Aki, K., 1980, Attenuation of shear-waves in the lithosphere for frequencies from 0.05 to 25 Hz: *Phys. Earth Planet. Inter.*, **21**, 50-60.
- Anderson, J., and Quaaas, R., 1988, The Mexico earthquake of September 19, 1985, effect of magnitude on the character of strong ground motion: an example from the Guerrero Mexico strong motion network: *Earthq. Spectra.*, **4**, 635-646.
- Boor, D. M., 2001, Effect of Baseline Correction on Displacement and response Spectra for several Recordings of the 1999 Chi-Chi, Taiwan, *Earthquake: Bull. Seism. Soc. Am.*, **91**, 1199-1211.
- Boor, D. M., Stephens, C. D., and Joyner, W. B., 2002, Comments on Baseline Correction of Digital Strong-Motion Data: Examples from the 1999 Hector Mine, California, *Earthquake: Bull. Seism. Soc. Am.*, **92**, 1543-1560.
- Castro, R. R., Anderson, J. G., Singh, S. K., 1990, Site response, attenuation and source spectra of S waves along the Guerrero Mexico, subduction zone: *Bull. Seism. Soc. Am.*, **80**, 1481-1503.
- Castro, R. R., Monachesi, G., Mucciareli, M., Trojani, L., and Pacor, F., 1999, P- and S-wave attenuation in the region of Marche, Italy, *Tectonophys*, **302** (1), 123-132.
- Castro, R. R., Monachesi, G., Trojani, L., Mucciareli, M., and Frapiccini, M., 2002, An attenuation study using earthquakes from the 1997 Umbria-Marche sequence: *J. Seism.*, **6**, 43-59.
- Gupta, S. C., Singh, V. N. and Kumar, A., 1994, Attenuation of coda waves in the Garhwal Himalaya, India: *Phys. Earth Planet. Inter.*, **87**, 247-253.